



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년11월28일
(11) 등록번호 10-0871098
(24) 등록일자 2008년11월24일

(51) Int. Cl.

H01H 59/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7015610(분할)
(22) 출원일자 2008년06월26일
 심사청구일자 2008년06월26일
 번역문제출일자 2008년06월26일
(65) 공개번호 10-2008-0077233
(43) 공개일자 2008년08월21일
(62) 원출원 특허 10-2002-7013758
 원출원일자 2002년10월12일
 심사청구일자 2006년04월03일
(86) 국제출원번호 PCT/FI2001/000369
 국제출원일자 2001년04월12일
(87) 국제공개번호 WO 2001/80266
 국제공개일자 2001년10월25일

(30) 우선권주장

20000888 2000년04월13일 핀란드(FI)

(56) 선행기술조사문현

JP 08-512141 A

US 5784189 A

US 3387194 A

US 5943223 A

전체 청구항 수 : 총 3 항

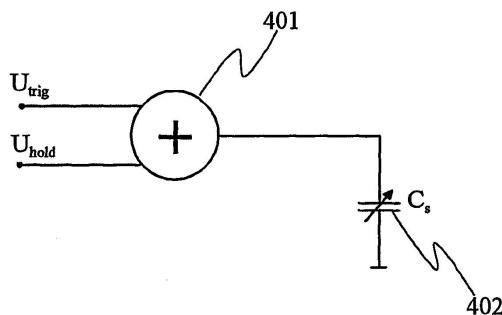
심사관 : 최광섭

(54) 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법

(57) 요약

본 발명은 마이크로 기계식 소자들의 제어에 관한 것이다. 특히 본 발명은 마이크로 기계식 스위치들의 제어에 관한 것이다. 적어도 하나의 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법에 따라 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호가 상기 마이크로 기계식 소자에 공급된다. 상기 제2 제어 신호는 상기 마이크로 기계식 소자를 액티브 상태로 세팅하도록 정해지고 상기 제1 제어 신호는 상기 마이크로 기계식 소자를 액티브 상태로 유지하도록 정해진다. 적어도 하나의 마이크로 기계식 소자(402)를 제어하기 위한 장치는 적어도 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호를 발생시키는 수단, 적어도 상기 제2 제어 신호의 전압 레벨을 높이는 수단, 및 상기 제1 제어 신호 및 높아진 전압 레벨을 갖는 상기 제2 제어 신호를 상기 마이크로 기계식 소자에 공급하는 수단을 적어도 포함한다. 본 발명에 의하여 더 낮은 전압 레벨들이 마이크로 기계식 응용들에 사용될 수 있다.

대 표 도 - 도4a



(81) 지정국

국내특허 : 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 리히텐슈타인, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그루지야, 헝가리, 이스라엘, 아이슬랜드, 일본, 케냐, 키르키즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 슬로베니아, 슬로바키아, 타지키스탄, 투르크맨, 터키, 트리니아드토바고, 우크라이나, 우간다, 미국, 우즈베키스탄, 베트남, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 아랍에미리트, 안티구와바부다, 코스타리카, 도미니카, 알제리, 모로코, 탄자니아, 남아프리카, 벨리즈, 모잠비크, 그라나다, 가나, 감비아, 크로아티아, 인도네시아, 인도, 시에라리온, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨, 콜롬비아

AP ARIPO특허 : 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 시에라리온, 가나, 감비아, 짐바브웨, 모잠비크, 탄자니아

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르키즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크맨

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 리히텐슈타인, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스, 터키

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디브와르, 카메룬, 가봉, 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고, 기니 비사우

특허청구의 범위

청구항 1

적어도 하나의 마이크로 기계식 소자(micromechanical element)를 제어하기 위한 방법에 있어서,

- 상기 마이크로 기계식 소자는 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합을 가지고 액티브 상태로 세팅되는 단계; 및
- 상기 마이크로 기계식 소자는 적어도 상기 제1 제어 신호를 가지고 상기 액티브 상태로 유지되는 단계;를 포함하며,

상기 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합은 적어도 하나의 제어 전극을 가지는 상기 마이크로 기계식 소자로 공급되며, 상기 적어도 하나의 제어 전극은 상기 제어 전극과 상기 마이크로 기계식 소자 간의 갈바니(galvanic) 접촉을 방지하기 위하여 유전체(dielectric) 층에 의해 적어도 부분적으로 커버(cover)되며,

상기 합은 상이한 주파수들을 가지는 신호들로 구성되는 것을 특징으로 하는, 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법.

청구항 2

적어도 하나의 마이크로 기계식 소자(micromechanical element)를 제어하기 위한 방법에 있어서,

- 상기 마이크로 기계식 소자는 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합을 가지고 액티브 상태로 세팅되는 단계; 및
- 상기 마이크로 기계식 소자는 적어도 상기 제1 제어 신호를 가지고 상기 액티브 상태로 유지되는 단계;를 포함하며,

상기 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합은 적어도 하나의 제어 전극을 가지는 상기 마이크로 기계식 소자로 공급되며, 상기 적어도 하나의 제어 전극은 상기 제어 전극과 상기 마이크로 기계식 소자 간의 갈바니(galvanic) 접촉을 방지하기 위하여 유전체(dielectric) 층에 의해 적어도 부분적으로 커버(cover)되며,

상기 합은 상기 제1 제어 신호와 상기 제2 제어 신호의 합이어서, 상기 합은 상이한 듀티 사이클(duty cycle)을 가지는 신호들로 구성되는 것을 특징으로 하는, 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법.

청구항 3

적어도 하나의 마이크로 기계식 소자(micromechanical element)를 제어하기 위한 방법에 있어서,

- 상기 마이크로 기계식 소자는 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합을 가지고 액티브 상태로 세팅되는 단계; 및
- 상기 마이크로 기계식 소자는 적어도 상기 제1 제어 신호를 가지고 상기 액티브 상태로 유지되는 단계;를 포함하며,

상기 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합은 적어도 하나의 제어 전극을 가지는 상기 마이크로 기계식 소자로 공급되며, 상기 적어도 하나의 제어 전극은 상기 제어 전극과 상기 마이크로 기계식 소자 간의 갈바니(galvanic) 접촉을 방지하기 위하여 유전체(dielectric) 층에 의해 적어도 부분적으로 커버(cover)되며,

상기 합은 상이한 펄스 밀도들을 가지는 신호들로 구성되는 것을 특징으로 하는, 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1>

본 발명은 마이크로 기계식 소자(micromechanical element)들에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 마이크로 기계식 정전용량의 또는 갈바니(galvanic) 스위치들 또는 마이크로 릴레이들, 마이크로 기계식 광학 스위치들, 쌍

안정 조정 가능한 커패시터들 또는 커패시터 뱅크(bank)들, 또는 어떤 다른 쌍안정 또는 다중-상태 마이크로 기계식 액츄에이터(actuator)들과 같은 마이크로 기계식 소자들을 제어하는 것에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 마이크로 기계식 소자들
- <3> 마이크로 일렉트로닉스에 있어서 경향은 더 높은 수준의 집적을 향한다. 동일한 경향이 마이크로 메카닉스에도 또한 일어나고 있다. 특히 마이크로 일렉트로닉 목적들을 위해 지정된 마이크로 기계식 소자들은 전기 응용들을 위해 점점 더 작은 구성요소들을 요구하기 때문에 더 고도로 집적될 필요가 있다. 마이크로 기계식 스위치들 또는 마이크로 릴레이들과 같은 마이크로 기계식 소자들을 사용함으로써, 많은 장점들이 달성될 수 있다. 예를 들어, 디바이스들의 크기가 더 작아지고 제조 비용들이 더 낮아진다. 후술되는 바와 같은 다른 장점들로 또한 있다.
- <4> 이하 마이크로 기계식 스위치들이 보다 상세하게 제시된다. 마이크로 기계식 스위치들은 미래 많은 응용들에 널리 사용될 마이크로 기계식 소자들의 분야에 속한다. 마이크로 기계식 스위치들은 예를 들어 무선 주파수 회로들에 대한 흥미있는 기회들을 생성한다. 특히 무선 주파수 회로들에 인가되는 경우 마이크로 기계식 구조들을 사용하는 장점은 낮은 삽입 손실(0.5dB 이하) 및 높은 절연(30 dB 이상)이다. 마이크로 기계식 스위치들의 추가 장점은 마이크로 기계식 스위치 구조들이 집적 회로들에 단일체로 집적될 수 있다는 것이다. 도 1a 내지 도 1c는 마이크로 기계식 스위치들의 3개의 상이한 보통 사용되는 기본 구조들을 도시한다. 도 1a에는 소위 마이크로 기계식 캔틸레버(cantilever) 스위치가 도시된다. 도 1b에는 전송선의 섹션들을 접속하는 마이크로 기계식 캔틸레버 스위치가 도시된다. 도 1c는 마이크로 기계식 브리지(bridge) 스위치를 도시한다.
- <5> 마이크로 기계식 스위치의 동작은 상기 스위치의 전극들에 연결된 제어 신호 또는 신호들을 가지고 제어된다. 상기 제어 신호에 의하여 상기 마이크로 기계식 스위치는 그 상태를 변경하도록 정해진다. 정전 또는 전압 제어에 의해 동작되는 현재 이용 가능한 마이크로 기계식 스위치들의 주요한 단점은 필요한 제어 전압이 10 - 30 V의 범위에 있다는 것이다. 이러한 종류의 전압은 스위칭 동작들을 위해 사용되는 최신식 (Bi)CMOS 디바이스들에서 사용되는 공급 전압보다 훨씬 더 높다. 더욱이, 스위칭 지연 및 필요한 제어 전압 레벨은 더 빠른 스위칭 시간이 더 높은 기계식 공진 주파수 및 따라서 더 굳은(stiffer) 기계식 구조를 요구한다는 점에서 근본적으로 서로 관련된다. 더 굳은 기계식 구조들은 그러나 더 높은 제어 전압 레벨들을 필요로 할 것이다.
- <6> 마이크로 기계식 스위치들에서 스위칭 역학 이론
- <7> 마이크로 기계식 소자들, 특히 마이크로 기계식 스위치들에 있어서, 스위칭 특성 및 작용은 많은 점에서 전통적인 기계식 릴레이들과 유사하다. 이러한 이유로 마이크로 기계식 스위치들의 동작은 간략화된 피스톤 모델들을 가지고 모델링된다.
- <8> 플레이트 커패시터(plate capacitor)의 커패시터 플레이트들간의 정전력(electrostatic force)은 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$F = -\frac{\partial W}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} CU^2 \right) = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{2C} \right)$$

$$\Leftrightarrow F = \frac{\epsilon_0 A U^2}{2(g_0 - x)^2} = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A}$$

- <9>
- <10> 여기서 W 는 정전용량(C)에 저장된 에너지이고, U 는 전압차이며, Q 는 전하(charge)이고, x 는 변위이며, g_0 은 커패시터 플레이트들간의 원래 갭이다.
- <11> 마이크로 기계식 스위치에 대한 간략화된 피스톤 유형 모델이 도 2에 도시된다. 이것은 질량(mass), 스프링, 댐퍼(damper), 플레이트 커패시터 구조, 및 옵션의 절연 모션 리미터들(203)로 구성된다. 정전력이 고정 전극(202) 및 피스톤 유형 구조의 이동부(201)간에 인가되는 경우, 정전 인력이 전극들간에 생성된다. 기계식 스프링 힘과 정전력간의 힘 균형이 생성된다:

수학식 2

$$<12> \sum F = F_{electric} + F_{mechanical} = \frac{\epsilon_0 A U^2}{2(g_0 - x)^2} - kx = 0$$

<13> 여기서 g_0 은 커패시터 플레이트들간의 원래 갭이고, x 는 안정 위치로부터의 변위이며, U 는 커패시터 플레이트들간의 전위차이고, k 는 스프링 상수이며, A 는 커패시터 면적이고, ϵ_0 는 유전체 상수이다.

<14> 도 2의 모델은 전압 제어 마이크로 기계식 커패시터, 스위치 또는 릴레이의 좋은 근사이다. 기계력이 전기력을 더 이상 지탱할 수 없는 경우 시스템은 불안정하다. 이것은 힘들의 합($\sum F$)과 힘들의 미분의 합($\frac{d}{dx}(\sum F)$) 양자가 0인 경우 발생할 것이다.

<15> 피스톤 구조의 풀인(pull-in) 또는 붕괴는 편향(deflection)이 수학식 3인 경우 그리고 전압이 수학식 4인 경우 그 구조의 차수들(dimensions)에 상관없이 일어난다.

수학식 3

$$<16> x = g_0/3$$

수학식 4

$$<17> U_{pull-in} = \sqrt{\frac{8kg_0^3}{27\epsilon_0 A}}$$

<18> 도 2로부터 볼 수 있는 바와 같이, 절연 용기들(203, insulating bumps)이 풀인에서 전극들간의 최소 거리를 제한하기 위하여 전극(202)상에 배열될 수 있다.

<19> 붕괴이후에 고정 전극의 면상의 이들 기계식 리미터들의 높이(h_{bump})에 의해 결정된 값으로 갭이 줄어든다. 스위치를 해제(release)하기 위하여, 전극들간의 전압은 기계력이 전기력을 다시 보상할 수 있는 값으로 감소되어야 한다. 따라서 우리는 해제 전압의 값을 발견할 수 있다.

수학식 5

$$<20> U_{release} = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot (g_0 - h_{bump}) \cdot h_{bump}^2}{\epsilon_0 A}}$$

<21> 해제 전압은 풀인 전압보다 분명히 더 작다. 예를 들어, 100 nm 높이 리미터들에 대해 해제 전압은 풀인 전압의 대략 10%이다. 따라서 비록 높은 전압이 풀인을 야기하는데 필요하다 하더라도, 훨씬 더 낮은 전압이 전극을 풀인 상태로 유지하는데 필요하다.

<22> 도 3a는 마이크로 기계식 스위치의 전형적인 전압-대-편향 특성을 도시한다. 이동가능한 구조는 풀인이 발생할 때까지 고정전극을 향해 편향한다. 전압이 해제 전압 아래로 낮아지는 경우, 구조는 기계력 및 정전력간의 평형 위치로 다시 완화된다. 일반적으로 다중 상태들을 갖는 구조들이 또한 설계될 수 있다. 도 3b는 2개의 상이한 안정 풀인 상태들, 제1 액티브(닫힌) 상태(306) 및 제2 액티브(닫힌) 상태(307)를 갖는 시스템의 예를 도시한다.

<23> 수학식 1은 커패시터의 전하가 상기 커패시터에 걸리는 전압 대신에 제어될 수 있는 경우 일정한 전하에 의해 발생된 힘은 편향에 의존하지 않기 때문에 풀인 불안정성이 회피될 수 있다는 것을 의미한다. 마이크로 기계식 구조들의 전하 제어가 실현적으로 증명되고 전하 제어를 달성하기 위해 문헌상에 공지된 몇 개의 구현들이 있다. 그 장점은 훨씬 더 큰 조정(tuning) 범위이다.

<24> 일정 전압 또는 일정 전하대신에, AC 전압 또는 전류가 또한 마이크로 기계식 구조의 편향을 제어하는데 사용될 수 있다. 사인 곡선 전류가 커패시터를 통해 인가되는 경우, 커패시터의 전하(q)는 수학식 6과 같이 동작한다.

수학식 6

$$\begin{aligned} \dot{q} &= \hat{i}_{ac} \sin \omega_{ac} t \\ \Rightarrow q &= \frac{\hat{i}_{ac}}{\omega_{ac}} (1 - \cos \omega_{ac} t) + q_0 \end{aligned}$$

<25>

<26> 여기서, \hat{i}_{ac} 는 AC 전류의 진폭이고, ω_{ac} 는 주파수이다. 추가 분석을 위해, 초기 전하(q_0)는 0으로 세팅될 수 있다. AC 전류의 주파수가 기계식 공진 주파수보다 더 높은 경우, 상기 힘의 dc 성분은 수학식 7이 될 것이다.

수학식 7

$$F_{dc} \approx \frac{\hat{i}_{ac}^2}{2\epsilon_0 A \omega_{ac}^2}$$

<28>

AC 전압 신호를 실효 AC 전류로 변환하는 하나의 간단한 방식은 LC 탱크(tank) 회로를 사용하는 것이다. 전형적으로 마이크로 기계식 소자의 정전용량은 1pF에서 30pF까지의 범위에 있다. AC 전압 입력 신호는 커패시터를 통하는 교류로 변환된다. LC 탱크 회로의 도움을 받아 매우 높은 진폭의 진동 전류 또는 커패시터상의 전하가 달성될 수 있다. 전류의 진폭은 LC 탱크 회로가 공진하는 경우 LC 탱크 회로의 양호도(quality factor, Q)에 의존한다. 바람직한 구현에 있어서, 탱크 회로 Q 값은 10 이상이어야 한다.

<29>

LC 탱크 회로가 스위치 제어에 인가되는 경우, 인덕터(inductor)를 통해 흐르는 AC 신호에 의해 제어되는 마이크로 기계식 소자의 스위칭 지연은 몇 개의 매개변수들에 의존한다:

수학식 8

$$\tau_{switch} = \tau_{switch}(Q_m f_0, U_{pull-in}, U_{control}, f_1, Q_s f_{LC})$$

<31>

여기서, f_0 은 기계식 공진 주파수이고, Q_m 은 기계식 양호도이며, $U_{pull-in}$ 은 풀인 전압이고, f_{LC} 는 마이크로 기계식 소자의 편향을 가지지 않는 초기 상태에서 LC 탱크 회로의 공진 주파수이며, Q_s 는 LC 탱크 회로의 양호도이고, $U_{control}$ 및 f_1 은 각각 제어 전압의 레벨 및 주파수이다.

<32>

스위칭 지연을 최적화하기 위하여, 기계식 양호도는 충분히 빠른 동작을 제공하기에 충분히 높지만 또한 첫 번째 접촉이후에 스위치 바운싱(bouncing)을 줄이기에 충분히 작도록 절충될 필요가 있다. 기계식 양호도의 최적값은 대략 0.05 - 0.5이다. 이것은 스위치 구조의 적합한 설계에 의해 그리고 주변 가스의 압력에 의해 조정될 수 있다.

<33>

스위칭 시간은 기계식 공진 주파수에 반비례한다. 요청되는 스위칭 시간이 더 낮으면 낮을수록, 기계식 구조는 더 굳어져야 한다. 수학식 3에 따라, 이것은 마이크로 기계식 쌍안정 소자를 트리거하는데 필요한 더 높은 전압레벨 및 더 높은 풀인 전압이 된다.

<34>

스위칭 지연은 또한 제어 신호의 주파수 및 진폭에 의존한다. 더욱이, 탱크 회로 공진 주파수(f_{LC}) 및 제어 신호 주파수(f_1)간의 정합은 힘과 스위칭 지연에 영향을 미칠 것이다. 탱크 회로 공진 주파수(f_{LC})는 스위치의 동작동안 일정하지 않다는 것을 주의한다: 마이크로 기계식 구조의 정전용량 잡이 더 좁아지는 경우, 공진 주파수(f_{LC})는 더 낮아지고 신호 주파수(f_1)와는 정합되지 않는다.

<35>

도 3c는 신호 주파수(f_1)에 대한 전기식(f_{LC}) 또는 기계식(f_m) 공진 주파수들간의 비에 대한 스위칭 지연의 의존성을 도시한다. 스위칭 지연은 신호 주파수(f_1)를 증가시킴으로써 더 짧아진다. 최적 신호 주파수는 기계식 공진 주파수보다 100 - 1000배 더 높다. 도 3d는 탱크 회로 공진 주파수(f_{LC}) 및 제어 신호 주파수(f_1)간의 비에 대한 스위칭 지연의 의존성을 도시한다. 최소 스위칭 지연은 제어 신호 주파수(f_1)를 초기 탱크 회로 공진 주파수(f_{LC})보다 대략 1 - 3 % 더 낮게 세팅함으로써 달성된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <36> 본 발명의 목적은 실제적인 방식으로 마이크로 기계식 소자들을 제어하기 위한 방법을 제공하는 것이다. 동시에, 본 발명의 목적은 마이크로 기계식 소자들의 동작을 제어하는 경우 상술된 문제들을 완화하는 것이다.
- <37> 본 발명의 목적들은 적어도 2개의 제어 신호들을 사용함으로써 달성된다. 하나의 제어 신호는 마이크로 기계식 소자를 액티브(닫힌) 상태로 세팅하는데 사용되고 다른 하나의 제어 신호는 마이크로 기계식 소자를 액티브(닫힌) 상태로 유지하는데 사용된다. 상기 액티브 상태는 전형적으로 풀인(pull-in) 상태이다.

과제 해결수단

- <38> 본 발명의 목적들은 대안으로 2개의 제어 신호들을 단일 신호로 결합함으로서 달성될 수 있다. 이러한 종류의 장치의 장점은 마이크로 기계식 소자를 풀인 상태로 유지하는데 필요한 전압 레벨이 더 낮아질 수 있다는 것이다. 그 결과, 전력 소모는 최소화될 수 있고 더 높은 전압 레벨들을 생성하기 위한 복잡한 dc-dc 변환기 회로들이 필요하지 않다. 추가적인 이점은 본 발명의 장점들을 받아들이는 장치들이 간단하고 구현하기에 용이하다는 것이다.
- <39> 적어도 하나의 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 방법은,
- <40> - 상기 마이크로 기계식 소자는 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합을 가지고 액티브 상태로 세팅되는 단계; 및
- <41> - 상기 마이크로 기계식 소자는 적어도 상기 제1 제어 신호를 가지고 상기 액티브 상태로 유지되는 단계;를 포함하며,
- <42> 상기 제1 제어 신호와 제2 제어 신호의 합은 적어도 하나의 제어 전극을 가지는 상기 마이크로 기계식 소자로 공급되며, 상기 적어도 하나의 제어 전극은 상기 제어 전극과 상기 마이크로 기계식 소자 간의 갈바니(galvanic) 접촉을 방지하기 위하여 유전체(dielectric) 층에 의해 적어도 부분적으로 커버(cover)된다.
- <43> 상기 합은 상이한 주파수들을 가지는 신호들로 구성된다.
- <44> 그리고, 상기 합은 상기 제1 제어 신호와 상기 제2 제어 신호의 합이어서, 상기 합은 상이한 브리 퍼센트 사이클(duty cycle)을 가지는 신호들로 구성된다.
- <45> 또한, 상기 합은 상이한 펄스 밀도들을 가지는 신호들로 구성된다.
- <46> 바람직하기로는, 상기 제1 제어 신호는 일정 전압 신호이고 상기 제2 제어 신호는 사인곡선 신호 또는 펄스 또는 펄스 열(pulse train) 신호와 같은 교체 신호이다.
- <47> 대안으로 양 신호들은 상이한 주파수들의 AC 신호들일 수 있다. 대안으로 양 신호들은 상이한 펄스 폭 또는 상이한 펄스 밀도의 펄스 신호들일 수 있다. 대안으로 2개의 신호들은 각각 상기 신호 특성을 중의 어느 하나인 2개의 신호들의 조합일 수 있다. 바람직한 제어 신호들의 선택은 도 5a 내지 도 5h에 도시된다.
- <48> 바람직하기로는 상기 신호들 중에서 적어도 하나는 마이크로 기계식 소자(C_s)의 전기식 또는 기계식 공진을 야기하는 주파수를 갖는다.
- <49> 본 발명에 따라 LC 탱크 회로가 쌍안정 마이크로 기계식 소자의 상태의 변화를 야기하기에 충분히 긴 기간을 갖는 과도 기간동안 정전용량 마이크로 기계식 소자상의 전하 또는 높은 진폭 진동 전류를 생성하는데 사용된다.
- <50> 본 발명은 예를 들어 갈바니(galvanic) 접촉, 마이크로 기계식 정전용량의 스위치들, 쌍안정 마이크로 기계식 커뮤니케이터들 및 커뮤니케이터 뱅크들, 마이크로 기계식 광학 스위치들, 또는 어떤 정전용량으로 제어되는 쌍안정 또는 다중-상태 마이크로 기계식 액츄에이터(actuator)를 포함하는 마이크로 기계식 스위치에 적용될 수 있다.

효과

- <51> 본 발명에 따라 LC 탱크 회로가 쌍안정 마이크로 기계식 소자의 상태의 변화를 야기하기에 충분히 긴 기간을 갖는 과도 기간동안 정전용량 마이크로 기계식 소자상의 전하 또는 높은 진폭 진동 전류를 생성하는데 사용된다.

<52> 본 발명은 예를 들어 갈바니(galvanic) 접촉, 마이크로 기계식 정전용량의 스위치들, 쌍안정 마이크로 기계식 커페시터들 및 커페시터 뱅크들, 마이크로 기계식 광학 스위치들, 또는 어떤 정전용량으로 제어되는 쌍안정 또는 다중-상태 마이크로 기계식 액츄에이터(actuator)를 포함하는 마이크로 기계식 스위치에 적용될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<53> 도 1, 도 2 및 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 배경기술을 설명할 때 이미 설명되었다.

<54> 도 4a 내지 도 4e에는 본 발명의 핵심인 본 발명의 기본 개념들이 도시된다. 이들 도면들에서 커페시터(C_s)는 마이크로 기계식 스위치 또는 마이크로 릴레이 등과 같은 마이크로 기계식 소자(402)를 나타낸다. 마이크로 기계식 소자는 제어 신호 또는 제어 신호들을 가지고 제어된다. 마이크로 기계식 소자들을 제어하기 위한 전형적인 과형들의 제어 신호가 도 5a 내지 도 5h에 도시된다. 상기 제어는 마이크로 기계식 소자를 액티브 상태로 세팅하는 것, 마이크로 기계식 소자를 액티브 상태로 유지하는 것 및 마이크로 기계식 소자를 인액티브 상태로 세팅하는 것으로 이해될 수 있다.

<55> 도 5a 및 도 5b로부터 볼 수 있는 바와 같이, 제어 신호는 마이크로 기계식 소자로 하여금 그 상태를 변경하게 하는 펄스 열일 수 있다. 또한, 적어도 2개의 제어 신호들의 경우에, 상기 신호들은 도 5c 및 도 5d에 도시된 중첩된 신호에, 도 5e에 도시된 진폭 변조된(AM) 신호에, 도 5f에 도시된 주파수 변조된(FM) 신호에, 도 5g에 도시된 펄스 폭 변조된(PWM) 신호에 또는 도 5h에 도시된 바와 같은 펄스 밀도 변조된(PDM) 신호에 결합될 수 있다.

<56> 상술된 과형들이 사인곡선 또는 펄스 형태 또는 그 조합일 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 예를 들어, 도 5c에서 과형의 트리거 부분이 바람직하기로는 펄스 열 대신에 사인곡선 신호일 수 있다. 또한, 주파수 스웨프(swept) 과형이 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위해 본 발명에 따라 사용될 수 있다.

<57> 본 발명에 따라, 바람직하기로는 사용된 제어 신호 주파수는 마이크로 기계식 소자의 기계식 공진 주파수의 저조파(sub-harmonic) 주파수이다. 제어 신호 주파수는 또한 전기식 공진회로의 저조파 주파수일 수 있고, 이것은 더 상세하게 후술될 것이다.

<58> 적어도 2개의 제어 신호들(U_{trig} 및 U_{hold})의 경우에 있어서, 기본 사상은 적어도 제2 제어 신호(U_{trig}) 및 제1 제어 신호(U_{hold})에 의하여 마이크로 기계식 소자는 그 상태를 변경하도록 정해지고 제2 제어 신호(U_{hold})에 의하여 상기 마이크로 기계식 소자는 그 새로운 상태로 남아있도록 정해진다는 것이다. 어떠한 제어 신호를 가지지 않는 경우 마이크로 기계식 소자는 인액티브 상태로 복귀되도록 정해진다.

<59> 다음은, 도 5a 내지 도 5h에 도시된 제어 신호들의 과형들을 기억하면서, 도 4a 내지 도 4e에 도시된 본 발명의 실시예들의 동작을 고려한다. 도 4a에 도시된, 본 발명의 제1 실시예에 따라, 가산 수단(401)에서 제1 및 제2 제어 신호를 합함으로써 동작이 달성된다. 제어 신호들의 합은 마이크로 기계식 소자(402)가 그 상태를 풀인 상태로 변경하게 하는 C_s 에 대한 풀인 전압의 레벨을 초과하도록 정해진다. 풀인 상태는 단지 제1 제어 신호(U_{hold})만을 가지고 유지될 수 있는데, 이것은 풀인 상태로 남아있는데 필요한 전압이 풀인을 달성하는데 필요한 전압 보다 훨씬 더 낮기 때문이다. 상기 장치의 장점은 전체 풀인 기간동안에 마이크로 기계식 소자에 높은 전압 레벨을 인가할 필요가 없다는 것이다. 그 결과, 전자회로가 간단해지고 전력 소비가 줄어든다. 바람직하게 합해진 신호는 도 5d에 도시되지만, 상기 신호들은 또한 도 10a에 도시된 구성을 가지고 기계식으로 합해질 수 있고 이것은 더 상세하게 후술될 것이다.

<60> 도 4a를 가지고 설명될 수 있는, 본 발명의 제2 실시예에 따라, 제2 제어 신호(U_{trig})만이 풀인 효과를 야기하기에 충분하다. 이 경우에 있어서 제어 신호들을 합할 필요가 없다. 그러나 U_{hold} 만을 사용하여 풀인 상태를 유지하기 위하여 적어도 U_{trig} 신호의 끝 이전에 마이크로 기계식 소자에 제1 제어 신호(U_{hold})를 공급하는 것이 바람직하다. 이 경우에도 또한 상기 신호들은 도 10a에 도시된 바와 같이 기계식으로 합해질 수 있다.

<61> 도 4b에 도시된, 본 발명의 제3 실시예는 가산 수단(401), 인덕턴스 수단(403) 및 다시 커페시터(C_s)를 나타내는 마이크로 기계식 소자(402)를 포함한다. 도 4b에 도시된 바와 같은 구성을 가지고 마이크로 기계식 소자상에 높은 진폭 전압을 발생하는 것이 가능하다. 예를 들어 DC 전압 신호인 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 예를 들어 작은 진폭 고주파 사인곡선 신호 또는 펄스 열인 제2 제어 신호(U_{trig})가 가산 수단(401)에 공급된다.

- <62> 가산 소자(401)의 출력은 LC 회로(403, 402)에 인가된다. 이러한 LC 탱크 회로는 상기 LC 회로에 의한 출력 신호의 공진 증폭 때문에 높은 진폭 전동 전류 또는 커패시터에 걸리는 전하를 생성하는데 사용된다. 상기 LC-회로는 적어도 정전용량(C) 및 인덕턴스(L)의 인덕터(403)를 포함한다. 상기 정전용량(C)는 바람직하기로는 마이크로 기계식 소자의 자체(intrinsic) 정전용량(C_s)이다. 상기 정전용량은 또한 마이크로 기계식 소자 외부에 있는(external) 구성요소로서 정해질 수 있고, 커패시터가 상기 마이크로 기계식 소자와 동일 기판상에 있지만, 상기 마이크로 기계식 소자의 외부에 있거나, 상기 마이크로 기계식 소자와 상이한 기판상에 있는 것으로 이해될 수 있다.
- <63> 바람직하기로는, 상기 가산 소자(401)로부터의 출력 신호의 주파수는 출력 신호의 증폭을 야기하는 LC-회로의 공진 주파수와 거의 동일하다. 최적으로, 상기 가산 수단(401)으로부터의 출력 신호의 주파수는 최적 스위칭 지연을 가지기 위하여, 도 3c에 도시된 바와 같이, LC 탱크 회로의 초기 공진 주파수보다 1 - 6% 더 낮다.
- <64> 제1 제어 신호가 DC 전압 신호인 경우 출력 신호의 주파수는 제2 제어 신호의 주파수에 의해 결정된다는 것이 당업자에게 명백하다.
- <65> 저조파(sub-harmonic) 주파수도 또한 제어 신호로서 사용될 수 있다는 것이 당업자에게 또한 명백하다.
- <66> 본 발명에 따라, 증폭된 출력 신호는 마이크로 기계식 소자의 상태 변화를 야기한다. 일반적으로, LC-회로에 의하여 출력 AC 신호 또는 오버레이드(overlaid) AC 신호의 진폭은 풀인을 야기하는 요구되는 전압 레벨이 도달되기에 충분하게 높여질 수 있다. LC-회로를 이용하여 AC 전압 신호는 스위치 정전용량에 교대 전하로 변환된다. 이 전하는 마이크로 기계식 소자로 하여금 그 상태를 변경하게 하는 단방향 힘 성분을 일으킬 것이다. 도 4a에 도시된 구현에 있어서 대응하는 합해진 제어 신호는 종료 전압으로서 그라운드(ground)를 사용하고 있다. 도 4b에 도시된 구현에 있어서 종료는 종료 전압(V_t)을 가지고 실현되도록 정해진다. 상기 종료 전압(V_t)은 그라운드 또는 DC 유지 전압과 같은 어떤 적합한 전압일 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 더욱이, 비록 명료함을 위해 종료 전압으로서 그라운드를 가지고 도시된다 하더라도, 이것이 모든 다른 도시된 회로들에도 또한 적용할 수 있다는 것이 명백하다.
- <67> 도 4c에 도시된, 본 발명의 제4 실시예는 입력단(U_{in})으로부터 구동된 커패시터(402) 및 인덕터(403)를 포함한다. 추가적으로 도시된 회로는 의도적으로 추가된 커패시터 또는 회로내의 어떤 기생 정전용량일 수 있는 정전용량(C_p)를 갖는 추가 커패시터(404)를 포함한다. 회로가 바람직한 주파수로 공진하도록 정해지는 경우 커패시터(404)는 L 및 $C_s + C_p$ 전체 정전용량에 의해 형성된 LC 회로에서 사용될 수 있다.
- <68> 도 4d는 본 발명의 제5 실시예를 도시한다. 입력 신호(U_{in})는 풀인하고 상기 신호(U_{in})가 제거될 때까지 풀인 상태로 마이크로 기계식 소자를 유지한다. 그러나 마이크로 기계식 소자는 C_s 상에 어떤 남아있는 전하가 있는 경우 얼마의 시간동안 풀인 상태로 남아있을 것이다. 스위칭 수단(405)이 마이크로 기계식 소자를 나타내는 커패시터(402)상의 남아있는 전하를 방전하고 따라서 스위치-오프 시간을 빠르게 하기 위하여 도 4c에 도시된 이전 회로에 추가된다. 스위치-오프 시간은 커패시터(402)의 플레이트들 사이에 남아있는 전압에 의해 영향받고, 이것은 도 12에서 단위에 무관한(dimensionless) 편향 전압의 후단에 도시되며 더 상세하게 후술될 것이다. 스위치(405)의 도움을 받아 커패시터(402)를 방전하는 것은 마이크로 기계식 소자(402)의 스위치-오프 지연을 상당히 줄일 것이다.
- <69> 도 4e는 이전 실시예의 U_{in} 신호가 고정 DC 전압(V_t), 바람직하기로는 유지 전압(V_{hold})으로 교체되는 본 발명의 제6 실시예를 도시한다. 전계 효과 트랜지스터(406, FET)가 인덕터(403)를 통해 V_t 에 의해 공급되는 전류를 끌어들이도록 정해진다. FET 스위치(406)의 동작은 FET(406)의 게이트에 $U_{control}$ 펄스들을 삽입함으로써 제어될 수 있다. 트리거 동안 상기 FET(406)는 필요한 풀인 전압에 도달하기 위하여 커패시터 플레이트들 상에 전압을 야기하는 LC 조합의 공진 주파수에 또는 가까이 펄스된다. 상기 인덕터(403)를 통해 흐르는 DC 유지 전압(V_t)은 트리거 후에 스위치(402)를 액티브 풀인 상태로 유지하기에 충분하다. V_t 가 제거되는 경우, 마이크로 기계식 소자(402)는 해제된다.
- <70> 대안으로, 전압(V_t)이 본질적으로 마이크로 기계식 소자(402)를 풀인(액티브) 상태로 유지하기에 충분하지 않은 경우, 상기 전압(V_t)은 더 낮은 반복율 또는 주파수로 FET(406)의 게이트에 단기 $U_{control}$ 펄스들을 삽입함으로써

증가될 수 있다. 이 경우에 마이크로 기계식 소자(402)를 해제하기 위해 전압(V_t)이 제거될 필요가 없다는 것이 장점이다.

- <71> 바람직하기로는, 더 낮은 반복 주파수는 마이크로 기계식 소자에 형성된 LC 회로의 전기식 공진 주파수 또는 마이크로 기계식 소자의 기계식 공진 주파수의 저조파이다.
- <72> 풀인 상태로부터 마이크로 기계식 소자(402)를 해제하는 것이 바람직한 경우 바람직하기로는 추가의 짧은 펄스가 정전용량(C_s)를 방전하기 위하여 FET 스위치(406)에 전송되도록 정해지고, 따라서 스위치-오프 지연 시간을 줄인다.
- <73> 도 6a는 전압 또는 파형(602)을 공급하는 제어기(601), 인덕턴스(403) 및 마이크로 기계식 소자(402)를 포함하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 상기 제어기는 LC 공진 회로를 구동하기 위하여 U_{in} 신호(602)를 공급한다. 마이크로 기계식 소자의 동작은 제4 및 제5 실시예들에서 기술된 것과 동일하다.
- <74> 도 6a에 도시된 구현에 관한 제1 실제적인 실시예에 있어서 제어기(601)는 마이크로 기계식 소자를 위해 필요한 U_{in} 신호(602)를 공급한다. 이 실시예는 스위치-오프 지연 시간이 중요하지 않은 응용들에 적합한데, 이것은 마이크로 기계식 소자(C_s)의 남아있는 전하가 인덕터를 통해 방전되어야 하고, 동작 사이클을 늦게 한다.
- <75> 도 6a에 도시된 구현에 관한 제2 실제적인 실시예에 있어서 제어기(601)는 마이크로 기계식 소자를 위해 필요한 U_{in} 신호(602)를 공급하지만, 상기 제어기(601)는 또한 스위치-오프 지연 신간을 줄이기 위하여 방전 스위치(405)에 대한 방전 제어 신호(603)를 제어한다.
- <76> 도 6b는 공급 스위치(613) 및 또한 고속 동작 스위치(406), 바람직하기로는 FET 스위치를 제어하는 제어기(611)를 포함하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 반도체 스위치는 보통 인덕터(403) 및 커패시터(402)에 의해 형성된 직렬 공진 회로에서 전기식 공진을 야기하는 주파수로 동작한다. 이 회로의 동작 원리는 본 발명의 제6 실시예가 도 4e를 참조하여 소개된 때에 이미 기술되었다.
- <77> 도 6b에 도시된 구현에 관한 제1 실제적인 실시예에 있어서 상기 공급 스위치(613)가 빠지거나 계속해서 스위치 온되는 것으로 고려될 수 있다. 이 경우에 있어서 제어기(611)는 스위치(406)를 동작하고 커패시터(402) 및 인덕터(403)에 의해 형성된 LC 회로의 전기식 공진 및 공급 V_t 를 이용함으로써 공급 신호로부터 트리거 신호 및 유지 신호 양자를 생성할 것이다.
- <78> 도 6b에 도시된 구현에 관한 제2 실제적인 실시예에 있어서 상기 제어기(611)는 공급을 스위치 오프하도록 상기 공급 스위치(613)를 동작한다. 이 경우에 공급 전압(U_{in})은 바람직하기로는 도 6b에 도시된 바와 같이 유지 전압(V_t)일 수 있다. 이 경우에 있어서 상기 제어기는 스위치(406)를 동작하고 마이크로 기계식 소자(402)에 대한 트리거 전압을 생성하기 위하여 커패시터(402) 및 인덕터(403)에 의해 형성된 LC 회로의 전기식 공진 및 공급 V_t 를 이용할 필요가 있다.
- <79> 도 6b에 도시된 구현에 관한 제3 실제적인 실시예에 있어서 동작 스위치(406)는 공급 스위치가 스위치 오프된 후 잠시 스위치 온하거나 대안으로 동작 스위치(406)가 여전히 전도하고 있는 동안 공급이 스위치 오프된다. 그것에 의해 동작 스위치는 부가적으로 마이크로 기계식 소자(C_s)의 스위치-오프 지연을 최소화하기 위하여, 상술된 바와 같이, 방전 스위치로서 동작한다.
- <80> 도 6c는 트리거 전압을 달성하기 위하여 상술된 탱크-회로 공진을 사용하지 않는 본 발명의 실시예를 도시한다. 도 6c에 따른 회로는 DC-DC 변환기 또는 소위 스텝 업 부스트-변환기(step up boost-converter)와 유사하다. 전압 부스팅 회로는 인덕터(403)를 통해 전류를 끌어당기는 반도체 스위치(626) 및 마이크로 기계식 소자(402)만으로 구성된 부하를 분리시키기 위한 다이오드(634)를 포함한다. 종래 DC-DC 변환기에서는 전하를 모으기 위해 비교적 큰 저장소(reservoir) 커패시터가 사용되지만, 이 실시예에서는 마이크로 기계식 소자(402)의 정전용량(C_s)은 부하 및 저장소 커패시터 양자를 포함한다. 이 실시예에 따른 DC-DC 변환기는 마이크로 기계식 스위치의 정전용량(C_s)에 의해 모인 전하를 발생시키는 것만이 필요하고 따라서 그것이 간단하고 저전력일 수 있다하더라도 매우 빠르게 동작한다. 상기 다이오드(624)는 변환기를 통한 방전을 방지한다. 제1 스위칭 소자(626)는 따라서 트리거를 위해 필요한 풀인 전압까지 전압을 올리는데 사용된다. 제2 스위칭 소자(625)는 마이크로 기계식 소자(402)의 정전용량 전하의 방전을 위해 사용된다. 이것은 바람직하기로는 다이오드(24)가 전도하고 있지 않

은 경우에만 일어날 것이다. 커패시터의 전하가 그라운드로 방전하기 위하여 방전은 스위칭 소자(625)를 신호(623)를 가지고 제어함으로써 달성된다.

<81> 도 6c에 도시된 구현에 따라 제1 실제적인 실시예에 있어서 제어기(621)에 의해 제어되는 공급 스위치(613)가 제공되는 경우 유지 전압은 바람직하기로는 인덕터(403) 및 다이오드(624)를 통해 전도된다.

<82> 도 6c에 도시된 구현에 따라 제2 실제적인 실시예에 있어서 공급 스위치(613)가 없거나 제어기(621)에 의해 제어되지 않고 계속해서 온된다. 이 경우에 제어기(621)는 마이크로 기계식 소자(402)를 위한 트리거 전압 및 유지 전압 양자를 발생시키기 위하여 가변 반복을 또는 가변 펄스 폭으로 상기 스위치(626)를 동작시키는 것이 필요하다.

<83> 도 6d는 액티브 제어기를 사용하는 것 대신에 자기-공진(self-resonance)을 유도하기 위해 피드백 네트워크를 사용하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 자기-공진을 야기하는 증폭 피드백 위상 편이(shifting) 네트워크는 U_{trig} 제어 신호에 의해 동작되는 신호(631)를 가지고 게이트 온 또는 오프될 수 있다. 이 실시예의 장점은 구동 신호 주파수 및 LC 회로 공진 주파수간의 주파수 부정합(mismatch)이 있을 수 없다는 것이다.

<84> 도 6d에 도시된 구현에 따른 제1 실제적인 실시예에 있어서 마이크로 기계식 소자를 풀인으로 트리거하기 위해 단일 제어 신호가 사용된다. 이 실시예에서 유지 전압은 제공되지 않는다. 이 방법은 구현의 효율성이 고려될 필요가 없는 경우에 사용될 수 있다. 장점은 풀인의 단일 1-라인 제어가 사용될 수 있다는 것이다. 단점은 별도의 유지 전압이 제공되지 않기 때문에 풀인 전압이 액티브 상태로 항상 동작되어야 한다는 것이다.

<85> 도 6d에 도시된 구현에 따른 제2 실제적인 실시예에 있어서 별도의 제어 신호가 유지 전압을 제공하는데 사용되고 별도의 제어 신호가 자기-진동을 위한 포지티브 피드백의 접속을 끊는데 사용되며, 이 경우 풀인을 위해서만이 필요할 것이다.

<86> 도 7a는 LC 회로(402 및 403)를 구동하기 위한 증폭기 단(703) 및 입력으로서 U_{hold} 및 U_{trig} 과 공급 전압(V_{cc})을 구비하는 제어기(701)를 포함하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 상기 제어기(701)는 증폭기 단(703)을 단일 선(702)을 가지고 제어한다. 바람직하기로는, 유지 전압(V_t)도 또한 증폭기 단(703)을 위한 공급 전압이다.

<87> 도 7a에 도시된 구현에 따른 제1 실제적인 실시예에 따라 증폭기(703)는 예를 들어 도 5b에 도시된 제어 신호를 사용하여 제어선(702)을 통해 제어된다. 상기 제어선(702)은 따라서 마이크로 기계식 소자(402)로 하여금 액티브 상태에 남아있게 하는 전압 레벨(V_t)로 유지되거나, 마이크로 기계식 소자(402)로 하여금 해제되거나 진동하게 하는 그라운드 레벨로 유휴(idle)되거나, 마이크로 기계식 소자(402)의 풀인을 야기하는 LC 회로(402, 403)의 공진 주파수 가까이 유지될 수 있다.

<88> 도 7a에 도시된 구현에 관한 제2 실제적인 실시예에 따라 전압(V_t)은 다른 공급 전압(V_{cc})보다 더 낮은 전압, 바람직하기로는 그라운드이고 증폭기로의 입력 신호는 이 경우에 도 5a에 도시된 제어 신호이다.

<89> 마이크로 기계식 소자를 풀인 상태로 유지하기에 충분하지 않은 전압(V_t)을 사용하는, 도 7a에 도시된 구현에 관한 제3 실제적인 실시예에 따라 상기 제어기(701)는 도 5e 또는 도 5f에 도시된 바와 같은 펄스 폭 변조된 파형들 또는 진폭 변조된 파형들을 사용함으로써 제어선(702)을 통해 트리거 전압 및 유지 전압 양자를 제어한다. 이들 파형들의 주파수 또는 다수의 그들 저조파 파형들 중 어떤 것은 상기 LC 회로(402, 403)의 공진 주파수이거나 가깝다.

<90> 도 7b는 LC 회로(402, 403)를 구동하는 자기-진동 증폭기 단(703) 및 입력들(U_{hold} 및 U_{trig}) 및 공급 전압(V_{cc})을 갖는 제어기(701)를 포함하는 본 발명의 실시예를 도시한다. 피드백 경로가 인덕터(403)로부터 피드백 커패시터(705)의 도움을 받아 정해진다. 상기 제어기(701)는 단일 선(702)을 가지고 증폭기 단(703)을 제어한다. 바람직하기로는, 유지 전압(V_t)은 또한 증폭기(703)를 위한 공급 전압이다. 인덕터(403)로부터 자기적으로 연결된 코일 또는 바람직하기로는 템(706)이 피드백 커패시터(705)에 의해 증폭기 단으로 통하는 위상 편이 피드백 신호를 제공하기 위해 배열된다. 도 7b에 있어서 인덕터(403)의 권선(winding)의 일단은 공급 전압(V_t)에 접속되고 타단은 피드백 커패시터(C_{fb})에 접속되며 상기 템은 마이크로 기계식 소자의 하나의 전극에 접속되지만, 상기 템은 또한 상기 공급 전압(V_t)에 접속될 수 있고 상기 인덕터(403)의 단들이 탱크 회로 정전용량(C_s)에 관한 피드백 커패시터(C_{fb})에 접속될 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 도 7b 또는 기술된 변형에 따른 회로는 공지된

하틀리(Hartley) 발진기를 효과적으로 형성하고, 증폭기가 공진 주파수에서 이득을 제공하는 경우, 회로는 적합하게 선택된 성분들을 가지고 진동할 것이다.

<91> 도 7b에 도시된 구현에 따른 제1 실제적인 실시예에 있어서 별도의 유지 전압이 발생될 필요가 없는 경우 제어기(701)는 불필요하다. 자기-진동은 간단히 상기 피드백 신호로 하여금 그라운드하거나 그렇지 않으면 피드백 신호를 정지시킴으로써 증폭기(703)에 영향을 미치는 것을 방지함으로써 방지될 수 있다. 장점은 간단한 1-라인 제어이지만, 효율은 감소되는데, 이것은 마이크로 기계식 요소가 비록 더 낮은 유지 전압이면 충분한 경우에도 불필요하게 항상 풀인되기 때문이다.

<92> 도 7b에 도시된 구현에 따른 제2 실제적인 실시예에 있어서 상기 제어기(701)는 또한 유지 전압을 제공하도록 정해진다. 트리거 전압을 발생시키는 자기-진동은 마이크로 기계식 요소(402)의 풀인 동안에만 액티브될 것이다. 제어기(701)는 적합한 DC 레벨로 출력 증폭기를 제어함으로써 유지 전압을 제공하고, 한편 동시에 자기-진동을 유지하기에 필요한 피드백 신호를 종료시킨다. 이것을 수행하는 간단한 방법은 제어기(701)의 출력이 하이 임피던스 상태에 있는 경우 증폭기(703)에 도달하는 피드백 신호를 허용하는 하이 임피던스 제어(704)를 사용함으로써 도 7b에 표시된다. 제어기 출력이 하이(high)이거나 로우(low)인 경우, 피드백 신호(704)가 증폭기(703)에 도달하는 것이 방지된다. 출력 레벨들 중의 하나는 마이크로 기계식 요소(402)의 DC 유지 전압을 제공하기 위해 증폭기의 출력을 제어하고, 다른 레벨 또는 유휴(idling) 레벨은 마이크로 기계식 요소의 해제를 야기할 것이다. 이 실시예의 장점은 마이크로 기계식 요소의 전체 제어가 단 하나의 신호선에서 단지 DC 신호 레벨들을 사용하여 획득될 수 있다는 것이다.

<93> 도 8a 및 도 8b는 몇 개의 마이크로 기계식 요소들(402)이 제어될 필요가 있는 상황들에서 사용될 수 있는 본 발명의 실시예들을 도시한다. 도 8a 및 도 8b에 있어서 마이크로 기계식 요소들은 커패시터들(402)로서 도시된다. 상기 마이크로 기계식 요소들은 가산 소자들(401)에 의해 제어되고 스위치들(803 및 804)의 도움을 받아 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})가 상기 가산 소자들내에 라우팅될 수 있다. 유지 스위치(803)가 바람직하기로는 해제 지연을 빠르게 하기 위한 방전 기능을 제공하도록 정해질 수 있다.

<94> 도 8a에 도시된 구현에 관한 제1 실제적인 실시예에 있어서 제2 제어 신호(U_{trig})는 전압 변환기 수단(801)을 가지고 제1 제어 신호(U_{hold})로부터 형성된다. 하나의 가능한 것은 제1 제어 신호(U_{hold})가 DC 전압이고, 그 신호는 또한 DC 전압인 제2 제어 신호(U_{trig})를 발생시키기 위하여 전압 변환기 수단에 의해 DC-DC 변환된다는 것이다. 상기 제2 제어 신호(U_{trig})의 DC 전압 레벨은 따라서 상기 제1 제어 신호(U_{hold})의 전압 레벨보다 더 높은 레벨로 변환된다. 상기 제2 제어 신호(U_{trig})는 상기 전압 변환기 수단(801)의 출력 및 그라운드 사이에 배열되는 저장소 커패시터(802)에 모인다. 가산 요소들(401)로의 제어 신호들의 선택은 이 바람직한 실시예에서 FET 스위치들인, 스위칭 수단(803, 804)을 가지고 제어된다. 상기 제1 제어 신호(U_{hold})의 선택 제어는 스위칭 수단(803)을 가지고 실현된다. 유사한 방식으로 상기 제2 제어 신호(U_{trig})는 스위칭 수단(804)에 의해 선택된다. 바람직하기로는, 상기 스위칭 수단(804)을 제어하는 신호는 AC 전압 신호이고 이것은 상기 스위칭 수단(804)으로 하여금 전도 상태 및 비-전도 상태를 교대로 일어나게 한다. 상기 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 상기 제2 제어 신호(U_{trig})의 합 또는 상기 제2 제어 신호(U_{trig}) 단독은 마이크로 기계식 소자를 풀인한다.

<95> 도 8b에 도시된 구현에 관한 제2 실제적인 실시예에 있어서 별도의 U_{trig} 공급(805)이 사용된다. 전압 변환기 수단(805)은 DC 공급 또는 어떤 다른 변환기일 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 예를 들어, 가산 소자들(401)에 어떤 적합한 DC 또는 AC 신호를 공급하는 것이 가능하다.

<96> 도 8a 및 도 8b에는 단지 2개의 마이크로 기계식 소자들 및 제어 회로들이 도시되지만, 어떤 다른 수의 이것들이 있을 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 마이크로 기계식 소자들이 또한 서로 상이할 수 있고, 이것은 풀인 효과를 야기하는 요구되는 전압 레벨이 상이할 수 있고 이것은 유사하지 않은 변환기들을 필요로 하거나 각 스위치들(803 및 804)에 대한 상이한 스위치 타이밍의 사용을 필요로 한다는 것을 의미한다.

<97> 상술된 실시예들은 마이크로 기계식 소자들의 제어를 개시하였다. 제어 회로들의 모든 실시예들은 전기적인 신호들을 사용한다. 특히, 대부분의 실시예들은 제어 신호 효과를 증폭하기 위하여 LC 공진을 이용하는 구현들을 개시한다. 제2 제어 신호(U_{trig})를 강화하기 위하여 LC 공진을 이용하는 것에 더하여 다른 가능한 것은 마이크로 기계식 소자 자신의 기계식 공진을 이용하는 것이다. 이것은 제2 제어 신호의 고조파 주파수를 마이크로 기계식 소자 구조의 기계식 공진에 정합함으로써 수행될 수 있다. 그러나 이것은 기계식 구조에 대한 높은 Q 값을 요구

한다. 실제로, 이것은 마이크로 기계식 구조가 장애를 최소화하기 위하여 진공에서 동작되어야 한다는 것을 의미한다.

<98>

일반적으로, 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 장치는 적어도 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호를 발생시키기 위한 수단을 적어도 포함한다고 말할 수 있다. 이를 수단은 예를 들어 전압 변환기 수단일 수 있다. 배터리 조차도 이 목적에 적합하다. 본 발명에 따른 장치는 적어도 상기 제2 제어 신호의 전압 레벨을 높이기 위한 수단을 포함한다. 상기 수단은 또한 특히 어떤 전압 레벨이 더 높은 전압 레벨로 높여지는 경우에 공통 전압 변환기 회로일 수 있다. 다른 가능한 것은 적어도 상기 제2 제어 신호의 전압 레벨을 높이기 위한 수단은 LC 회로를 형성하는 인덕터 및 커패시터로 구성되는 것이다. 여기서, 마이크로 기계식 소자의 자체 커패시터를 이용하는 것이 가능하다. 인덕터 및 커패시터는 또한 별개의 구성요소들일 수 있다. 본 발명에 따른 장치는 추가로 상기 제1 제어 신호 및 높아진 전압 레벨을 갖는 제2 제어 신호를 마이크로 기계식 소자에 인가하기 위한 수단을 포함한다. 이를 수단은 예를 들어 가산 회로이고, 상기 가산 회로는 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호를 함께 합하고 상기 신호들의 합을 마이크로 기계식 소자에 공급하는데 사용된다. 적어도 제2 제어 신호의 전압 레벨의 상승은 상기 신호들을 마이크로 기계식 소자에 공급하기 위한 수단 이전에서 또는 이후에서 수행될 수 있다는 것이 당업자에게 명백하다. 이것은 제어 회로의 구현에 의존한다.

<99>

도 9는 간략화된 흐름도의 도움을 받아 본 발명에 따른 방법을 도시한다. 제1 단계(850)에서 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})가 발생된다. 상기 제1 제어 신호(U_{hold})는 예를 들어 공급 전압으로부터 직접 발생될 수 있다. 상기 제2 제어 신호(U_{trig})는 예를 들어 상기 제1 제어 신호(U_{hold})로부터 발생될 수 있다. 단계 851에서 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})는 마이크로 기계식 소자의 상태를 변경하기 위해 마이크로 기계식 소자에 인가된다. 새로운 상태는 마이크로 기계식 소자의 트리거 상태 또는 풀인(pull-in) 상태이다. 본 발명의 제1 실시예에 따라 상기 풀인 상태는 제2 제어 신호(U_{trig})를 가지고 달성된다. 본 발명의 다른 실시예에 따라 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})의 합이 마이크로 기계식 소자에 풀인 효과를 야기하기 위해 필요하다. 다음 단계(852)에서 제2 제어 신호(U_{trig})의 공급이 중단되고 마이크로 기계식 소자의 새로운 상태는 제1 제어 신호(U_{hold})를 가지고 유지된다. 풀인 상태가 유지될 수 있기 위하여 제1 제어 신호(U_{hold})는 해제 전압 보다 더 높아야 한다는 것이 당업자에게 명백하다. 상기 제1 제어 신호(U_{hold})를 비활성화하는 경우 마이크로 기계식 소자는 원래의 상태로 해제될 수 있다. 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})는 마이크로 기계식 소자에 인가되기 전에 증폭될 수 있다. 상기 증폭을 수행하는 하나의 가능한 방식은 LC 공진 회로를 사용하는 것이다. 다른 가능한 것은 마이크로 기계식 소자의 기계식 공진을 이용하는 것이다. 버퍼 또는 증폭기는 또한 제어 신호들을 증폭하거나 자기-진동을 야기하는데 사용될 수 있다.

<100>

도 10a 및 도 10b에는 기관상에 구현된 제어 장치의 실제적인 구현들이 도시된다. 도 10a 및 도 10b로부터 볼 수 있는 바와 같이, 본 발명의 이를 실시예들에서 2개의 제어 신호들을 마이크로 기계식 소자(900)에 인가하는데 사용되는 전극들(901, 902)은 서로 떨어져 있다.

<101>

도 10a에 있어서 여기서 마이크로 기계식 스위치인 마이크로 기계식 소자(900)는 제어 신호들을 전극들(901, 902)에 공급하는 경우 그 상태를 변경하도록 정해진다. 본 발명에 따라, 제1 제어 신호(U_{hold})는 제1 전극(901)에 배열되고 제2 제어 신호(U_{trig})는 제2 전극(902)에 배열된다. 제2 제어 신호(U_{trig})는 바람직하기로는 단기 고전압 펄스이고, 이것은 제1 제어 신호(U_{hold})를 가지고 풀인 효과를 야기하기에 충분히 높다. 풀인 효과가 일어난 경우 제2 제어 신호(U_{trig})는 비활성화될 수 있고 그 다음 풀인 상태는 제1 제어 신호(U_{hold})만을 가지고 유지된다. 제1 제어 신호(U_{hold}) 및 제2 제어 신호(U_{trig})는 또한 동일한 전극을 사용함으로써 마이크로 기계식 소자에 공급될 수 있다.

<102>

도 10b는 도 10a에 도시된 것과 동일한 종류의 장치를 도시한다. 여기서 단기 고전압은 제2 제어 신호(U_{trig}) 회로에 배열된 공진 회로에 의해 달성된다. 상기 공진 회로는 마이크로 기계식 소자의 자체 정전용량 및 인덕터(L)를 가지고 형성된다. 바람직하기로는, 제2 제어 신호(U_{trig})의 주파수는 공진 회로의 공진 주파수보다 약간(1 - 6%) 더 높다. 상기 공진 회로에 의해 제2 제어 신호(U_{trig})의 전압 레벨은 풀인 효과를 야기하기에 충분히 높을 때까지 높여질 수 있다.

<103>

본 발명에 따라 제어 전극들은 상기 제어 전극들 및 상기 마이크로 기계식 소자간의 갈바니(galvanic) 접촉을

방지하기 위하여 유전체 층에 의해 적어도 부분적으로 커버된다.

<104> 도 11은 마이크로 기계식 소자의 실제 레이아웃을 도시한다. 이 경우에 있어서 스위치는 부유 용량(stray capacitance)들과 함께 제어 전극의 정전용량(C_s)은 LC 회로의 전체 정전용량을 형성하는 공진 텩크 회로의 인덕턴스를 제공하는 토로이드(toroidal) 인덕턴스와 함께 도시된다. 상기 토로이드 인덕턴스는 그 크기를 줄이기 위하여 그리고 누설 인덕턴스를 줄이기 위하여 바람직하기로는 자기 코어를 구비하도록 정해진다.

<105> 도 11은 토로이드 인덕턴스 및 마이크로 기계식 소자가 동일 기판(951)상에 접적되는 그러한 실시예를 도시한다. 도 11에 도시된 장치는 마이크로 기계식 소자(402), 신호 패드들(953) 및 제어 전극(952)을 포함한다. 이 바람직한 실시예에 있어서 마이크로 기계식 소자(402)의 동작을 제어하기 위해 단 하나의 제어 전극(952)만이 배열된다. 본 발명에 따라 제어 목적을 위해 다중 전극들을 사용하는 것이 또한 가능하다. 제어 신호들은 제어 신호 패드들(954)을 통해 기판에 인가된다. 상기 신호들은 토로이드 인덕턴스(955)를 통해 마이크로 기계식 소자(402)에 인가된다. 상기 토로이드 인덕턴스(955)는 바람직하기로는 자기 코어(956) 둘레에 배치된다. 상기 인덕턴스(955) 및 마이크로 기계식 소자(402)의 자체 정전용량에 의하여 제어 신호들의 전압 레벨은 상술된 바와 같이, 풀인 효과를 야기하는데 요구되는 전압 레벨로 높여질 수 있다. 상기 기판(951)은 그 위에 마이크로 기계식 소자(402) 및 인덕터(955)가 접적되는 실리콘웨이퍼일 수 있다. 하나의 가능한 것은 기판으로서 봉규산 유리(borosilicate glass)를 사용하는 것이다. 상기 기판은 또한 중합체(polymer)로 제조될 수 있다. 사용된 인덕터는 바람직하기로는 자기 코어 둘레에 배열되는 3차원 솔레노이드 또는 토로이드이다. 바람직하기로는, 상기 자기 코어(956)는 높은 유전율을 갖는다. 인덕터(955) 및 마이크로 기계식 소자(402)가 동일한 기판 상에 접적되지 않는 것이 또한 가능하다. 이 실시예에 따라, 인덕터는 마이크로 기계식 소자의 외부에 있는 벌크(bulk) 구성요소이다.

<106> 본 발명이 동일 기판에 접적된 인덕터를 갖는 마이크로 기계식 스위치들에 적용되는 경우, 인덕터에 대한 실제 인덕턴스 값들은 대략 100 nH 내지 10,000 nH일 것이고, Q 계수는 1 내지 200 MHz의 주파수 범위에서 10보다 더 좋은 것이 필요할 것이다. 기계식 공진 Q 계수는 바람직한 스위칭 시간에 의존하지만 대략 0.01 내지 0.5일 것이다.

<107> 도 12는 이 경우에 스위치인 마이크로 기계식 소자 구조의 편향의 과도 시뮬레이션을 도시한다. x-축은 단위에 무관한(dimensionless) 시간 스케일이고 y-축은 구조의 편향 및 대응하는 풀인 전압을 나타낸다. 제1 그래프(998)는 제1 및 제2 제어 신호들의 합을 나타낸다. 제2 그래프(999)는 마이크로 기계식 스위치의 편향을 나타낸다. 전압은 우선 유지 전압인 제1 제어 신호의 전압 레벨까지 경사진다. 시간 순간(50)에 제2 제어 신호가 전극들에 공급되고 마이크로 기계식 소자의 풀인 효과가 일어난다. 제2 제어 신호는 대략 10 시간 단위들에서 활성화된다. 풀인 상태는 시간 순간(150)까지 제1 제어 신호를 가지고 유지된다. 본 발명에 따른 장치에서 볼 수 있는 바와 같이, 풀인 상태는 단지 풀인 전압의 10분의 1인 낮은 전압 레벨을 가지고 유지될 수 있다.

<108> 상기 설명에서 상이한 종류들의 장치가 도시되었고 상기 장치에 의해 스위치들과 같은 마이크로 기계식 소자들의 동작이 제어될 수 있다. 지금까지, 사용되는 구성요소들 및 소자들의 실제 값들에 주의를 기울이지 않았다. 상기 장치의 기술적인 특징들을 명료하게 하기 위하여 마이크로 기계식 스위치는 예를 들어 그 기계식 공진 주파수(f_0)가 10 내지 200 kHz인 그러한 것일 수 있다. 기계식 양호도(Q_m)는 0.05 및 0.5 사이이다. 풀인 전압($U_{pull-in}$)은 10 - 30 V이고 마이크로 기계식 스위치의 자체 정전용량은 1 - 30pF이다. 사용된 인덕터의 인덕턴스는 바람직하기로는 100 nH - 10 μ H일 수 있다. LC 텩크 회로의 양호도(Q)는 바람직하기로는 10보다 더 크고 텩크 회로의 공진 주파수(f_{LC})는 1 - 200 MHz이다. 제2 제어 신호(U_{trig})를 생성하기 위해 사용된 AC 전압원은 대략 풀인 전압($U_{pull-in}$)의 0.1 - 0.2 배인 진폭을 갖는다. 전형적으로, 이것은 대략 1 - 3 V이다. AC 신호의 주파수는 1 내지 200 MHz이다. 제1 제어 신호를 생성하기 위한 DC 전압원은 그 진폭이 풀인 전압($U_{pull-in}$)의 0.1 - 0.2 배이고 전형적으로 1 - 3 V인 전압을 생성한다. 상기 표시된 값들은 단지 예들이고 본 발명을 제한하지 않는다는 것이 당업자에게 명백하다.

<109> 마이크로 기계식 소자들의 제어는 바람직하기로는 복잡함을 줄이고 따라서 그 가격을 줄이기 위하여 낮은 전압을 사용하여 수행된다. 마이크로 기계식 소자들의 제어를 위한 새로운 독창적이고 실제적인 해결책들이 본 명세서에 제공되었다. 이들 마이크로 기계식 소자들은 스위치들, 릴레이들 또는 전기적이고 광학적인 스위칭 목적들을 위한 어떤 다른 종류의 마이크로 기계식 소자들일 수 있다.

<110> 마이크로 기계식 소자들은 오늘날 원격 통신 분야에서 많은 목적들에 사용된다. 예를 들어, 마이크로 기계식 소

자들은 스위칭이 특히 이중 대역 또는 이중 모드 이동국들에서 많은 목적들을 위해 필요한 이동국들에 사용된다.

<111> 기술된 구현들에 있어서 구성요소들 및 수단들은 본질적으로 동일한 동작들을 수행하는 다른 소자들로 대체될 수 있다.

<112> 본 발명은 상술한 실시예들을 참조하여 상술되었다. 그러나, 본 발명은 이들 실시예들에만 제한되지 않고, 다음의 특허청구범위 및 본 발명 사상의 정신 및 범위 내의 모든 가능한 실시예들을 포함하는 것이 명백하다.

도면의 간단한 설명

<113> 도 1a 내지 도 1c는 다양한 마이크로 기계식 스위치 구조들을 도시한다.

<114> 도 2는 간략화된 마이크로 전기 기계의 시스템의 피스톤 구조를 도시한다.

<115> 도 3a는 마이크로 기계식 정전용량의 소자의 전형적인 전압-대-편향 특성을 도시한다.

<116> 도 3b는 3 상태 정전용량 구조의 전압-대-정전용량 특성을 도시한다.

<117> 도 3c는 신호 주파수에 대한 전기식 또는 기계식 공진 주파수들간의 비에 대한 스위칭 지연의 의존성을 도시한다.

<118> 도 3d는 탱크 회로 공진 주파수 및 제어 신호 공진 주파수의 비에 대한 스위칭 지연의 의존성을 도시한다.

<119> 도 4a 내지 도 4e는 본 발명의 기본 개념들을 도시한다.

<120> 도 5a 내지 도 5h는 마이크로 기계식 소자를 제어하는데 사용되는 파형들을 도시한다.

<121> 도 6a 내지 도 6d는 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 본 발명의 실시예들을 도시한다.

<122> 도 7a 및 도 7b는 마이크로 기계식 소자를 제어하기 위한 본 발명의 실시예들을 도시한다.

<123> 도 8a 및 도 8b는 다중 마이크로 기계식 스위치들을 제어하기 위한 본 발명의 실시예들을 도시한다.

<124> 도 9는 본 발명에 따른 방법의 간략화된 흐름도를 도시한다.

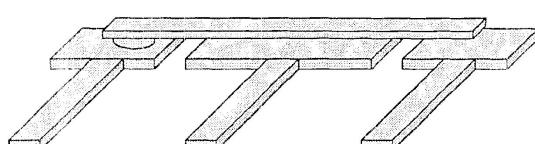
<125> 도 10a 및 도 10b는 기판상의 제어 전극들의 구현들을 도시한다.

<126> 도 11은 기판상의 LC 회로의 구현을 도시한다.

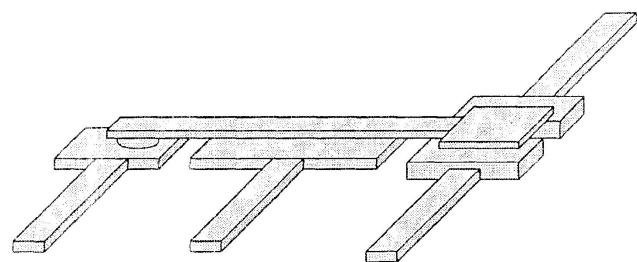
<127> 도 12는 마이크로 기계식 소자의 동작의 과정 시뮬레이션을 도시한다.

도면

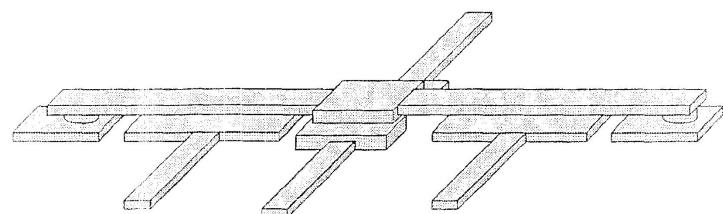
도면1a



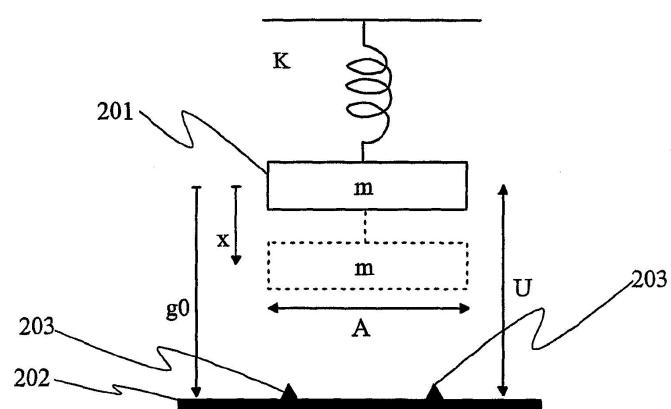
도면1b



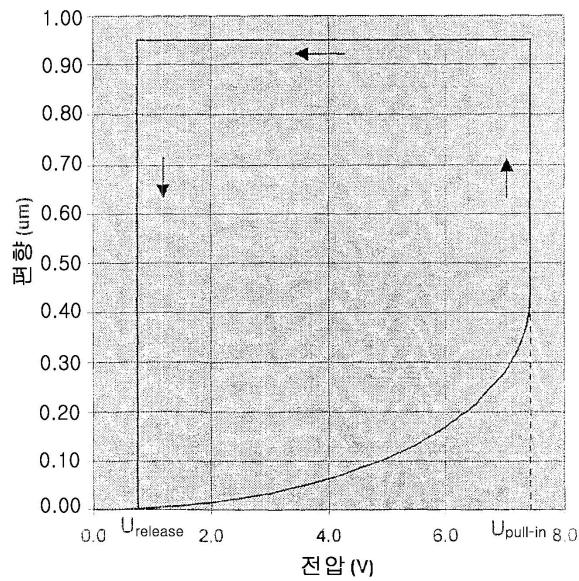
도면1c



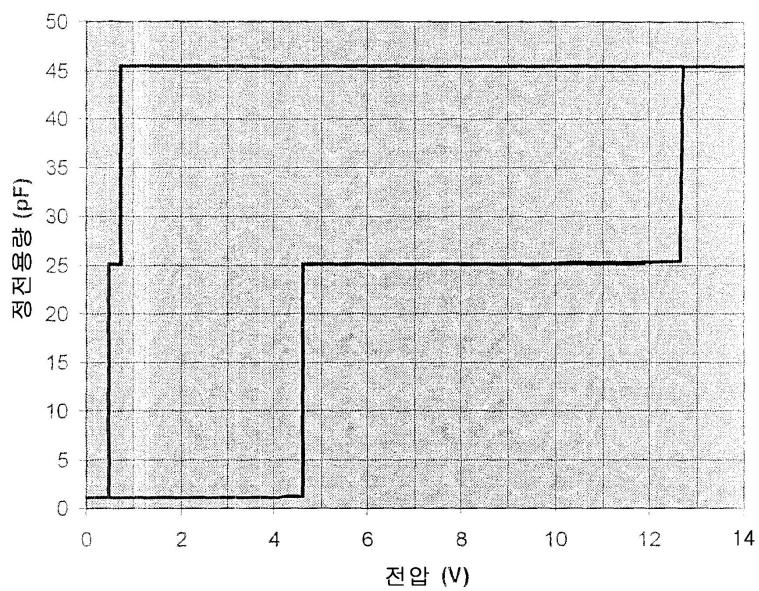
도면2



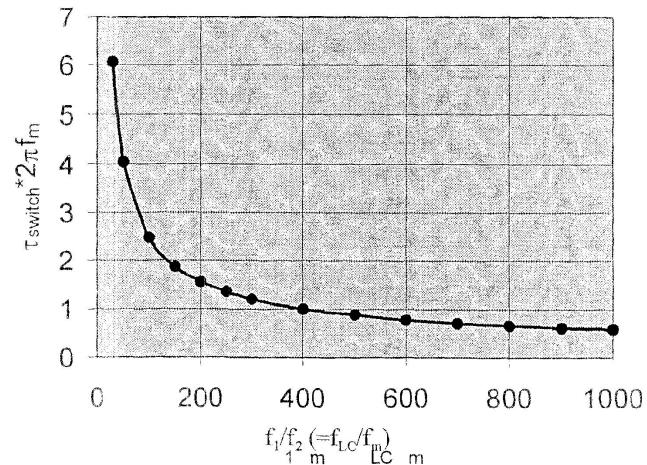
도면3a



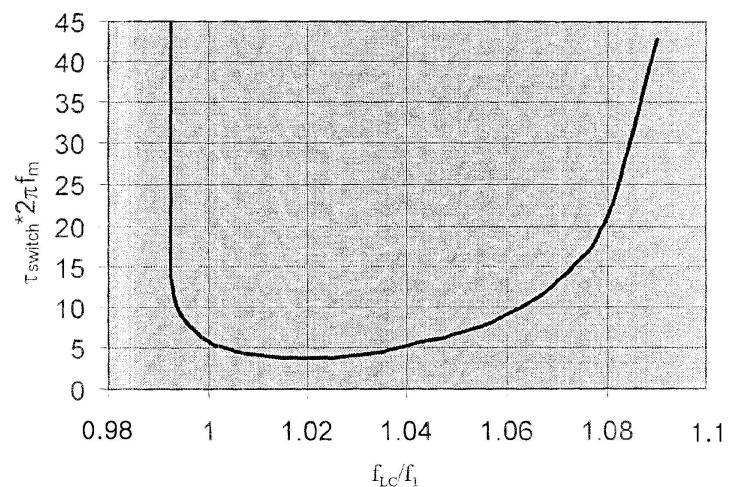
도면3b



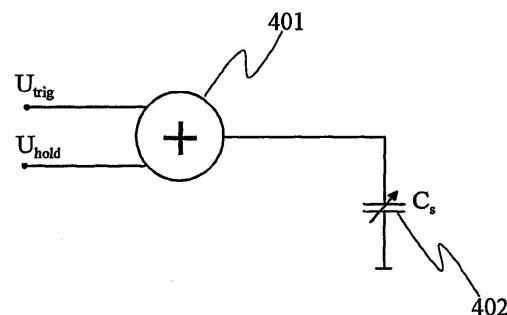
도면3c



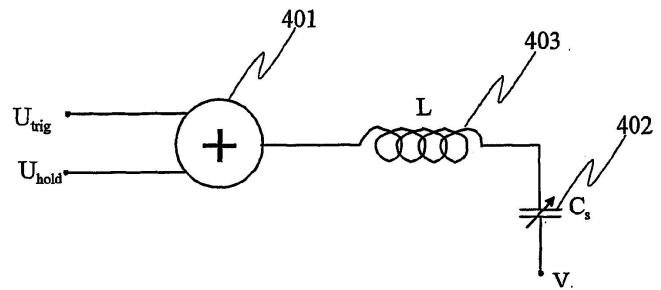
도면3d



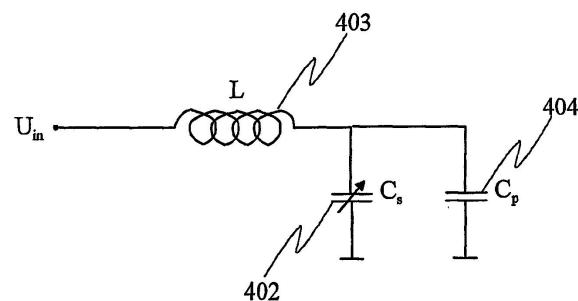
도면4a



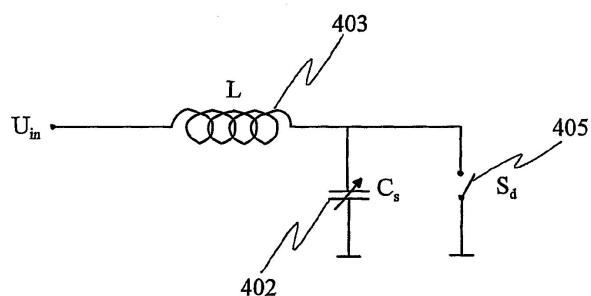
도면4b



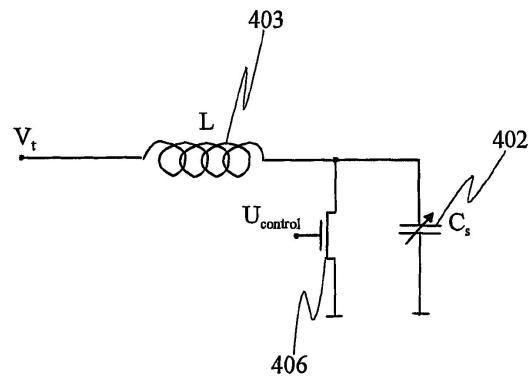
도면4c



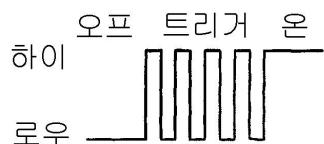
도면4d



도면4e



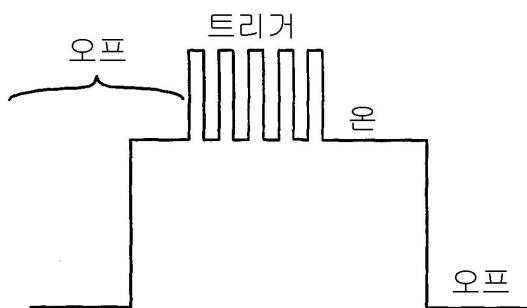
도면5a



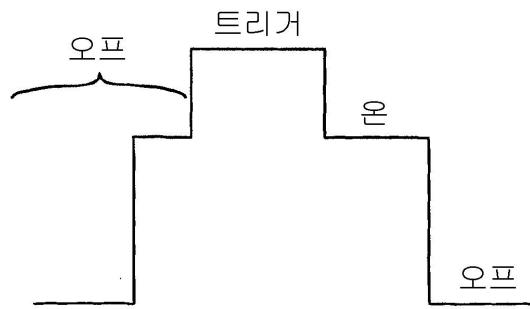
도면5b



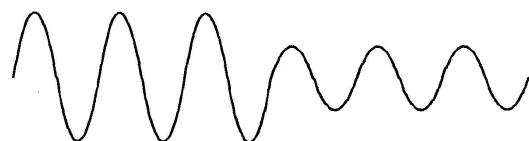
도면5c



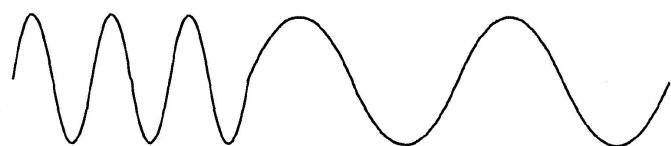
도면5d



도면5e



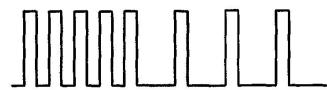
도면5f



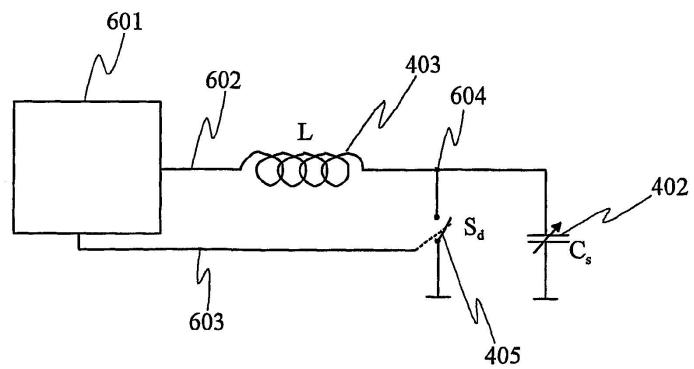
도면5g



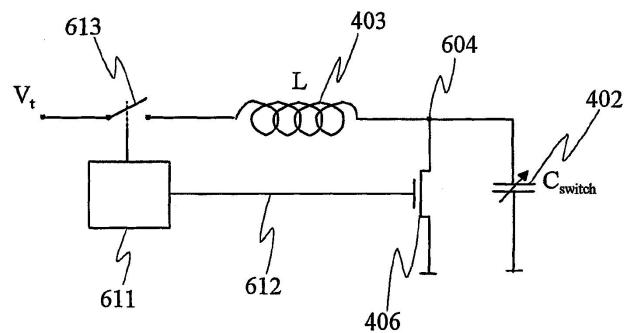
도면5h



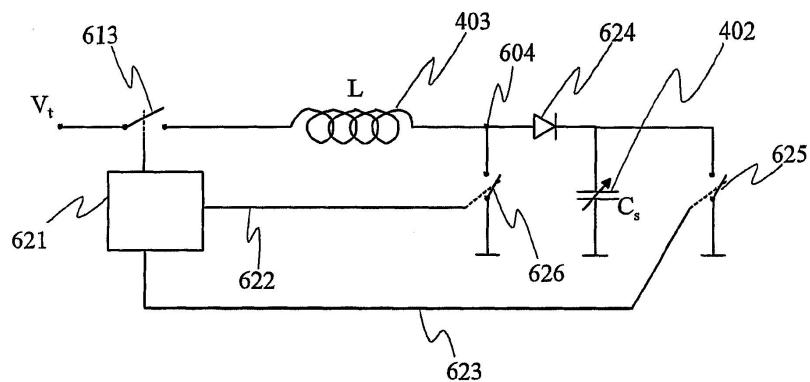
도면6a



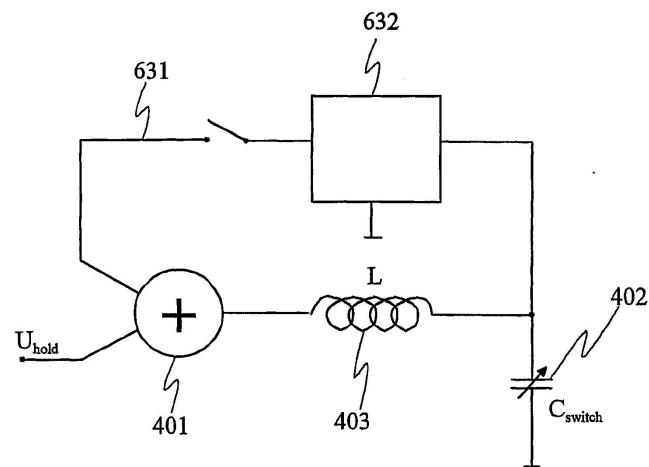
도면6b



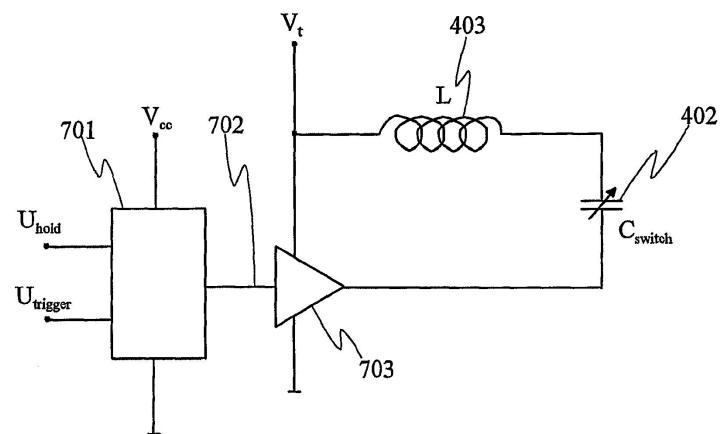
도면6c



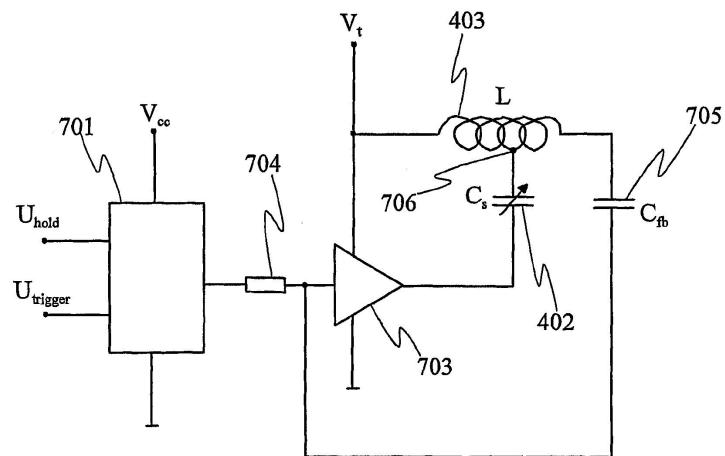
도면6d



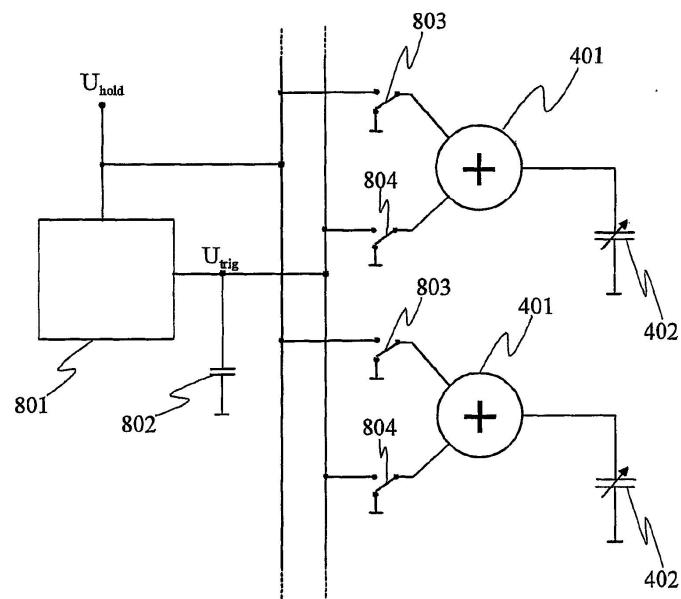
도면7a



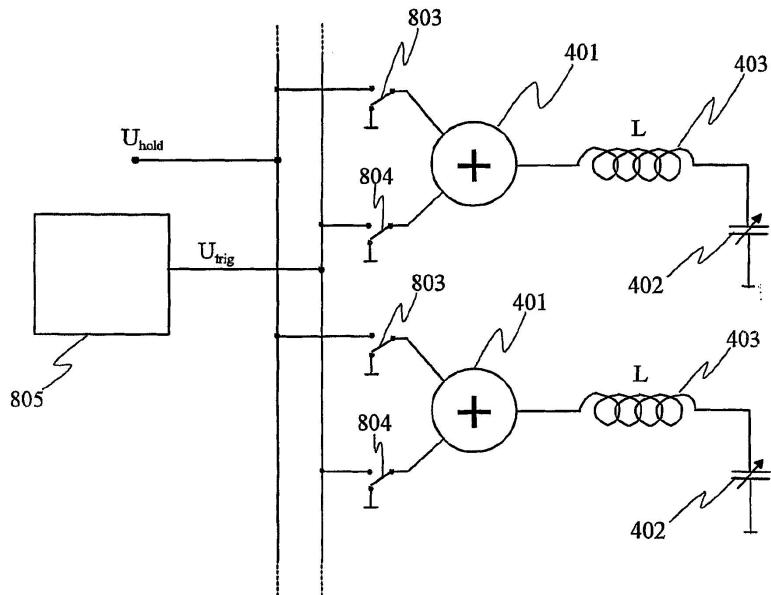
도면7b



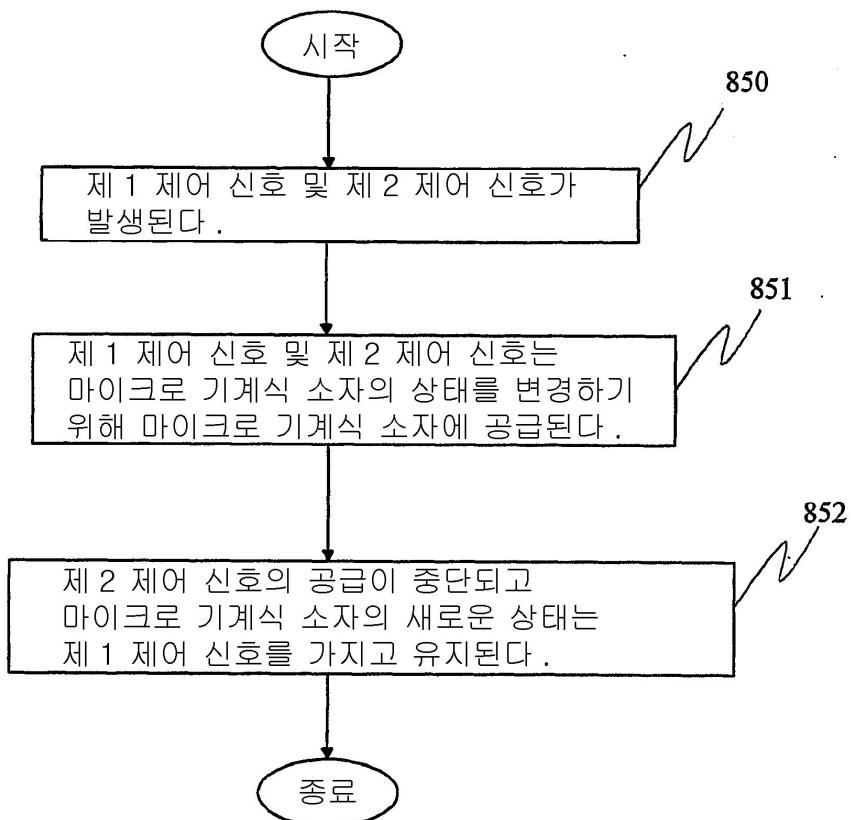
도면8a



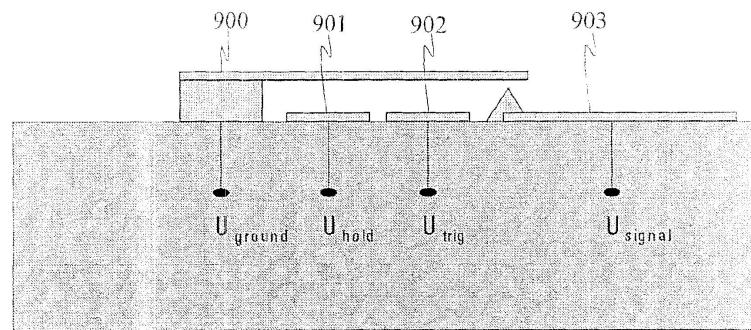
도면8b



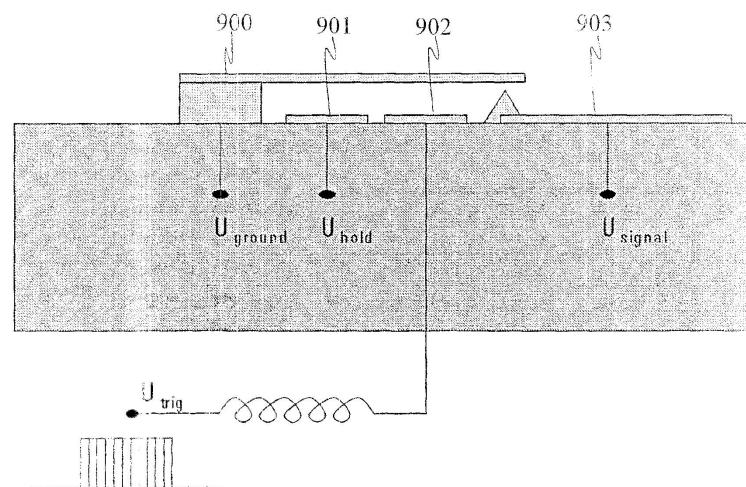
도면9



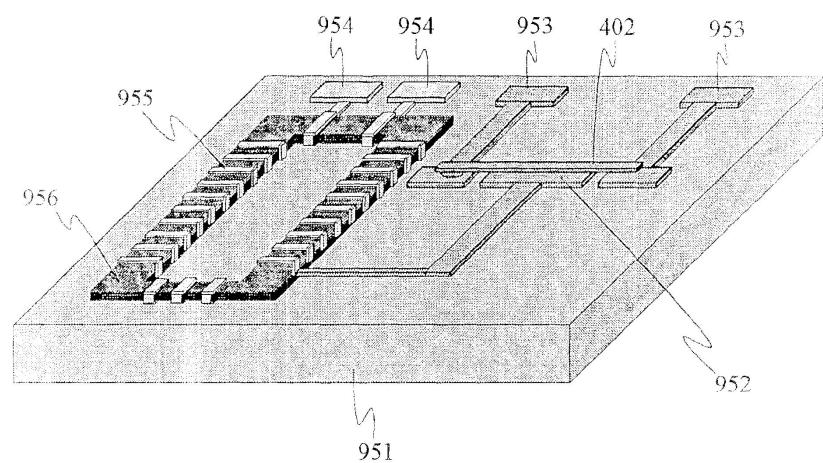
도면10a



도면10b



도면11



도면12

